

SWITCHING CARD WITH ALUMINUM MEMBRANE CURRENT LEAD CROSSOVERS

The development of a complete semiconductor functional unit with high informational capacity and reliability, and with low unit cost is a complex task because of its contradictory basic requirements.

This problem can be resolved at the current stage when multichip integrated circuits (MIC) are used. In this case, low unit cost is achieved due to economically profitable degree of integration of a separate semiconductor crystal (a chip), and the increase in informational capacity of the system is achieved by combining a number of such IC according to the pre-set electrical circuit on a single dielectric base with the previously developed system of interconnections, crossovers and bond areas, which is called a switching card (SC). In addition, in order to improve reliability of contact connections and to reduce the cost of assembling, the most advanced installations methods are used with ultrasonic welding, i.e. the flip chip method and the beam lead method [1].

In the chip/switching card system, the weak point is current lead crossovers on the switching card, and therefore this problem has been currently attracting an increasing attention.

The highest reliability is provided by beam crossovers with a double dielectric insulation described in [2]. However the proposed method of their manufacturing has the following flaws:

- a) diversity of processes (vacuum evaporation, electrochemical metal deposition);
- b) a large number of used materials including precious and rare-earth metals;
- c) application of a layer of gold presumes the presence of gold-plated bond areas on a chip (metallurgical compatibility of contact materials), which complicates the process of obtaining interconnections in IC.

The purpose of this work was to develop a method for manufacturing a switching card with current lead crossovers having double dielectric insulation which would eliminate the above flaws.

Using a crossover with a beam structure [2] requires thick layers of metal for the development of beam supports (about 5 μ), an intermediate layer (about 5 μ), and a beam itself (15 μ).

Out of two most commonly used methods of producing metal films – electrochemical deposition and vacuum evaporation - the latter makes it possible to obtain metal films with better parameter repeatability, and it does not impose strict limitations on selections of materials for an SC. Yet, obtaining of thick layers of metal by vacuum deposition causes great difficulties.

Let us examine the possibility of reducing the required thickness of metal layers of a beam structure without compromising the crossover properties. Reducing the beam thickness shall increase the probability of its deflection under the effect of electrostatic forces generated by pulses traveling in intersecting current leads, and therefore will result in deterioration of reliability of the crossover (a hard dielectric layer interferes with direct shorting). Yet if the beam tension force is increased simultaneously, then reliability of this thinned membrane beam shall not any lower than that of a thick one. Membrane tension can be adjusted by selecting membrane and substrate material with highly different coefficients of thermal expansion.

In the event when chips with beam leads or reciprocal projections are used, there is no need to form high supports for chip bending within a single process cycle, and therefore the buffer layer thickness can also be reduced to $1.5\text{-}2\text{ }\mu$. The further thickness reduction creates difficulties with elimination of an etch from under the membrane as a result of surface force tension, and also its warping may occur. Nevertheless, special actions allowed to bring the intermediate layer thickness to $0.8\text{-}1\text{ }\mu$.

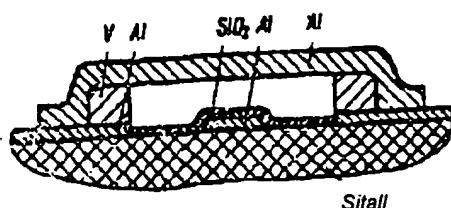


Fig. 1 Structure of current lead membrane crossover

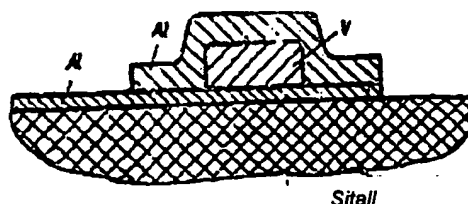


Fig. 2 Structure of support for attachment of semiconductor crystals

Thus, in terms of a structure of crossover with the double dielectric insulation, there are no principal limitations for reducing the buffer layer and beam thickness, and therefore the preferable application of the vacuum deposition method is possible.

Based on the above-mentioned and using the method of producing film relays [4], the authors have developed a structure of membrane crossover of current leads (Fig. 1). A membrane is made of aluminum ($2\text{ - }3\text{ }\mu$ thick), and Sitall is used as a substrate material. The thermal expansion coefficients for the aluminum-Sitall system are $26 \cdot 10^{-6}$ - $(9\text{-}12) \cdot 10^{-7}$ degrees $^{-1}$, respectively, and their ratio is 22 to 29. There is a double insulation of intersecting conductors; a thin silicon dioxide layer ($0.1\text{ - }0.2\text{ }\mu$) and an air gap ($2\text{ - }3\text{ }\mu$).

The minimum possible number of metal layers, needed to develop a crossover with the structure shown in Fig. 1, is equal to three: the top layer (bond areas, membranes), the intermediate layer (supports, a buffer layer under membranes), and the bottom one (interconnection). Due to specific features of the crossover structure, the metal buffer layer used for air gap formation under the membrane, and membrane supports are formed from one layer of metal.

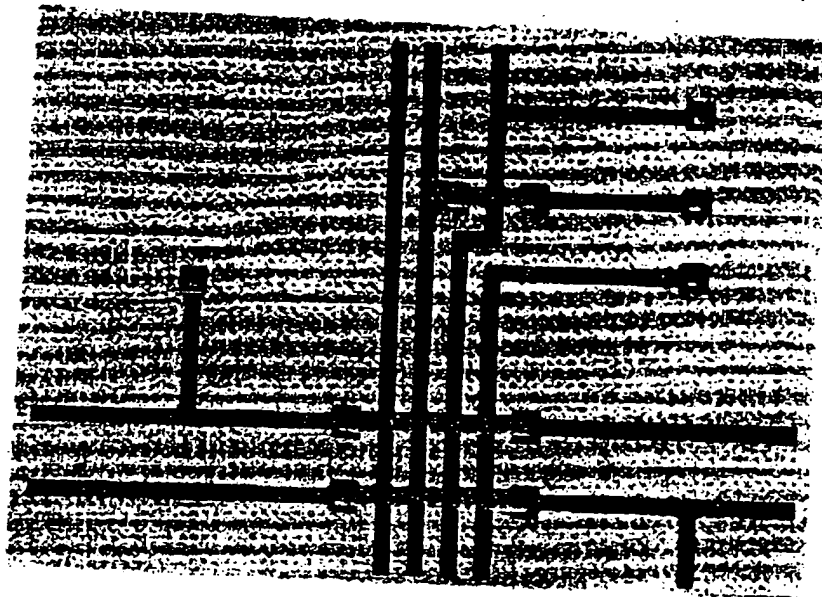
Application of aluminum as the membrane material determined the material for the top layer of metallization on a SC, i.e. aluminum. This makes it possible to avoid complications in IC metallization process and apply commonly used aluminum metallization [3]. Here, one of two known (Au - Au and Al - Al) most stable contact pairs is applied.

Application of aluminum as the top layer metal makes it possible to use ultrasonic chip bonding to the switching card which provides the most reliable connections. In this case, specific requirements to the intermediate material layer occur:

- a) metal should have good adhesion to aluminum and to the bottom metallization layer;
- b) it must be capable of selective etching in relation to aluminum and to material of the bottom metallization layer without a release of gaseous products;

- c) metal should not form solid solutions and compounds with aluminum and interconnection material.

If intermediate layer material forms compounds with aluminum or the bottom metallization layer, then the formed transient layer may not be etched away, which will have a negative impact on membrane properties (resulting in warping due to the difference in thermal expansion coefficients).



BEST AVAILABLE COPY

Fig. 3. Portion of completed switching card (X50, side illumination)

Thus, in relation to material of membrane and top metallization layer, vanadium is the most efficient as the intermediate layer. Also, application of vanadium allows to produce the bottom metallization layer from aluminum. Aluminum, in addition to its known advantages [3], has good adhesion to Sitall used as a substrate for SC.

The process of manufacturing of a switching card with the described membrane crossovers is a relatively simple one. A single layer aluminum interconnection shall be made on the Sitall substrate. A silicon dioxide film is applied by cathode sputtering with reaction [5] followed by photoengraving. An intermediate vanadium layer is sputtered onto the plate surface and is also subjected to photoengraving. In addition, vanadium islands are left which are needed to form supports, as well as narrow strips in the sites of membrane formation which shall be further etched away for the formation of an air gap under the membranes.

Further, the top metallization layer – an aluminum layer – is sputtered onto the substrate. Photolithographic process is used for simultaneous formation of aluminum membranes and bond areas. The photoengraving process of the top aluminum layer when the bottom aluminum layout is available, does not create any problems, because silicon dioxide or an intermediate vanadium layer serve as the masking layer depending on the photomask design.

The buffer vanadium layer is etched away from under the membrane. Supporting surfaces of the membrane are protected by aluminum from three sides, and vanadium underetching takes place from the outside only. During the time of etching, vanadium under the membrane shall not be able to disintegrate completely.

There are the remaining portions of the buffer layer which serve as a membrane support. The finished card is heat treated in inert medium.

In the event when a switching card is designed for chip bending by the flip chip method, supports for flip bending are made simultaneously with formation of a layout and membrane crossovers within a single process cycle. The design of such a support is shown in Fig. 2. The support is made in the form of a portion of a vanadium layer enclosed into aluminum from all sides which allows to etch away the vanadium buffer layer from under the membrane while not destroying the support.

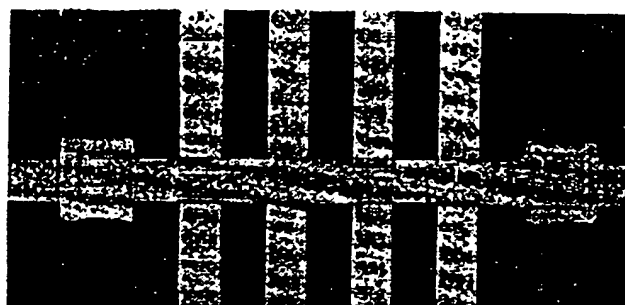


Figure 4. Membrane crossover of current leads (X50, direct illumination)

The finished SC consists of 34 membrane bridges of different length which incorporate 61 current lead crossovers. A portion of such a card and the membrane crossover are shown in Fig. 3 and 4.

Testing of finished switching cards indicated that the produced membrane crossovers sustain voltage of about 100 V on intersecting current leads. Under the voltage of 110-120 V, the impact of electrostatic forced resulted in deflection of a membrane when the membrane would lay on a solid dielectric. No dependence of deflection strain on membrane length was recorded. An increase in voltage to 140-150 V resulted in dielectric breakdown.*

CONCLUSIONS

1. A switching card for MIC was produced on the basis of a three layer composition using only two metals – aluminum and vanadium – which has membrane crossovers of current leads with a double dielectric insulation.
2. The upper metallization layer on SC, along with the commonly used chip aluminum metallization, uses one of two stable contact pairs + (aluminum - aluminum).

LITERATURE

1. Clark R. - Elec. Pach. Prod., 1969, 9, 12, 1, 54-62.
2. Lepselter M.P. - Bell Sys. Techn. J., 1968, 47, 2, 269-271.
3. Schnable G., Kin R. - TIIEE, 1969, 57, 9, 118-128.
4. Dyatlov V.L., Soldatenkov I.S. - Papers of The First All-Union Conference on Computing Circuits. Issue 5, "Nauka", Novosibirsk, 1968, 159-176.
5. Zavvalets Ye.G., Kimarsky V.I., Kaufman A.P., Kobylatskaya M.F. - Electronics, Materials, 1970.

Received by the editorial staff
in May 1971

*After this article was already finished, a paper (Solid State Technology, 1970, 13, 8, 62-66) was published which briefly mentioned manufacturing of aluminum intersections similar to those described in the article.

С. В. СВЕЧИКОВ, М. Ф. КОБЫЛЯКОВ, В. Н. ЕНМАРСКИЙ,
А. П. КАУФМАН, Ю. М. КУЗОВЛЕВ,
В. М. ЧЕРЕПОВ, Б. М. ФОМИН

КОММУТАЦИОННАЯ ПЛАТА С АЛЮМИНИЕВЫМИ МЕМБРАННЫМИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯМИ ТОКОПРОВОДОВ

Создание законченного полупроводникового функционального блока с большими информационной емкостью и надежностью и низкой удельной стоимостью является сложной задачей вследствие противоречивости основных требований.

Решение проблемы на современном этапе возможно при использовании многокристалльных интегральных схем (МИС). В этом случае низкая удельная стоимость достигается экономически выгодной степенью интеграции: отдельного полупроводникового кристалла — чипа, а увеличение информационной емкости системы — путем соединения ряда таких ИС по заданной электрической схеме на единой диэлектрической основе с заранее созданной системой межсоединений, пересечений и контактных площадок, получившей название коммутационной платы (КП). При этом с целью увеличения надежности контактных соединений и снижения стоимости сборочных операций используются наиболее прогрессивные методы монтажа с ультразвуковой сваркой — метод перевернутого кристалла и метод балочных выводов [1].

В системе чипы — коммутационная плата слабым звеном являются пересечения токопроводов на коммутационной плате, поэтому данному вопросу уделяют в последнее время все большее внимание.

Наибольшую надежность обеспечивают балочные пересечения с двойной диэлектрической изоляцией, описанные в работе [2]. Однако предлагаемый способ их изготовления имеет следующие недостатки:

- а) разнородность технологических процессов (вакуумное испарение, электрохимическое осаждение металлов);
- б) большое количество используемых материалов, в том числе драгоценных и редкоземельных металлов;
- в) использование слоя золота предполагает наличие на чипе золоченых контактных площадок (металлургическая совместимость контактных материалов), что усложняет процесс получения межсоединений в ИС.

Цель настоящей работы заключалась в разработке способа получения коммутационной платы с пересечениями токопроводов, имеющими двойную диэлектрическую изоляцию, исключающего перечисленные недостатки.

Реализация пересечения с балочной конструкцией [2] требует получения толстых слоев металлов для создания опор балки (около 5 мкм), промежуточного слоя (около 5 мкм) и собственно балки (15 мкм).

Из двух наиболее широко применяющихся методов получения металлических пленок — электрохимического осаждения и испарения в вакууме — второй позволяет получать пленки металла с лучшей воспроизводимостью параметров и не накладывает жестких ограничений на выбор материалов для КП. Однако получение толстых слоев металлов методом вакуумного напыления связано с большими трудностями.

Рассмотрим возможность уменьшения необходимых толщин металлических слоев балочной конструкции без ухудшения свойств пересечения. Уменьшение толщины балки увеличивает вероятность прогиба ее под действием электростатических сил, вызываемых прохождением импульсов в пересекающихся токопроводах, и, следовательно, ведет к ухудшению надежности пересечения (непосредственному закорачиванию препятствует слой твердого диэлектрика). Но если одновременно с этим увеличить силы натяжения балки, то такая утонченная балка-

ТА С АЛЮМИНИЕВЫМИ ЕНИЯМИ ТОКОПРОВОДОВ

олупроводникового функциональ-
ной емкостью и надежностью и
ложной задачей вследствие про-

и этапе возможно при использо-
схем (МИС). В этом случае
экономически выгодной степенью
зого кристалла—чипа, а увеличе-
— путем соединения ряда таких
з единой диэлектрической основе
нений, пересечений и контактных
мутационной платы (КП). При
тактных соединений и снижения
зуются наиболее прогрессивные
кой — метод перевернутого кри-

плата слабым звеном являются
ионной плате, поэтому данному
большее внимание.

ивают балочные пересечения с
писанные в работе [2]. Однако
имеет следующие недостатки:
процессов (вакуумное испарение,

их материалов, в том числе дра-

ипологает наличие на чипе зо-
ургическая совместимость кон-
процесс получения межсоедине-

в в разработке способа получе-
ниями токопроводов, имеющими
ключающего перечисленные не-

конструкцией [2] требует полу-
ния опор балки (около 5 мкм),
ственно балки (15 мкм).

ошихся методов получения ме-
ого осаждения и испарения в
з пленки металла с лучшей
ладывает жестких ограничений
тучение толстых слоев металлов
большими трудностями.

и необходимых толщин метал-
из ухудшения свойств пересече-
чивает вероятность прогиба ее
и, вызываемых прохождением
одах, и, следовательно, ведет
непосредственному закорачива-
грика). Но если одновременно
и, то такая утонченная балка-

мембрана будет обладать не меньшей надежностью, чем толстая. Натя-
жение мембраны можно регулировать подбором материалов мембраны
и подложки, имеющих большую разность коэффициентов термического
расширения.

В случае использования чипов с балочными выводами или ответ-
ными выступами нет необходимости формировать в едином технологи-
ческом цикле высокие опоры для присоединения чипов, поэтому можно
также уменьшить толщину буферного слоя до величины 1,5—2 мкм. При
дальнейшем снижении толщины возникают затруднения с удалением
травителя из-под мембраны вследствие действия сил поверхностного
натяжения, а также возможно коробление ее. Тем не менее, принимая
специальные меры, удавалось довести толщину промежуточного слоя
до 0,8—1 мкм.

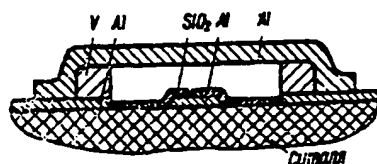


Рис. 1. Конструкция мембранного пере-
сечения токопроводов.

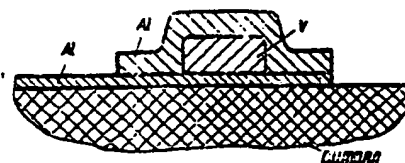


Рис. 2. Конструкция опоры для присоеди-
нения полупроводниковых кристаллов.

Таким образом, принципиальных ограничений на снижение толщин
буферного слоя и балки с точки зрения конструкции пересечения с двой-
ной диэлектрической изоляцией нет и, следовательно, возможно преиму-
щественное применение метода вакуумного напыления.

Основываясь на вышесказанном и используя метод изготовления
пленочных реле [4], авторы создали конструкцию мембранного пере-
сечения токопроводов (рис. 1). Мембрана изготавливается из алюминия
(толщина 2—3 мкм), материалом подложки служит ситалл. Коэффи-
циенты термического расширения системы алюминий—ситалл соответ-
ственно $26 \cdot 10^{-6}$ — $(9-12) \cdot 10^{-7} \text{ град}^{-1}$, их отношение равно 22—29. Изо-
ляция пересекающихся проводников двойная: тонкий слой двуокиси
кремния (0,1—0,2 мкм) и воздушный промежуток (2—3 мкм).

Минимально возможное количество слоев металлов, необходимое
для создания пересечения с конструкцией, показанной на рис. 1, равно
трем: верхний слой (контактные площадки, мембраны), промежуточный
(опоры, буферный слой под мембранами) и нижний (разводка). В силу
особенности конструкции пересечения буферный слой металла, исполь-
зуемый для образования воздушного зазора под мембраной, и опоры
мембраны формируются из одного слоя металла.

Выбор алюминия в качестве материала мембран предопределяет
материал верхнего слоя металлизации на КП — алюминий. Это дает
возможность избежать усложнения процесса получения металлизации
и ИС и использовать широко применяемую в настоящее время металли-
зацию алюминием [3]. При этом реализуется одна из двух известных
(Au—Au и Al—Al) наиболее устойчивых контактных пар.

Применение алюминия как материала верхнего слоя позволяет
использовать ультразвуковую приварку чипа к коммутационной плате,
дающую наиболее надежные соединения. В данном случае возникают
специфические требования к материалу промежуточного слоя:

- а) металл должен иметь хорошую адгезию к алюминию и к нижне-
му слою металлизации;
- б) он должен обладать способностью к селективному травлению
по отношению к алюминию и к материалу нижнего слоя металлизации
без выделения газообразных продуктов;

в) металл не должен образовывать твердых растворов и соединений с алюминием и с материалом разводки.

Если материал промежуточного слоя образует соединения с алюминием или с нижним слоем металлизации, то получающийся переходной слой может не стравливаться, что отрицательно сказывается на свой-

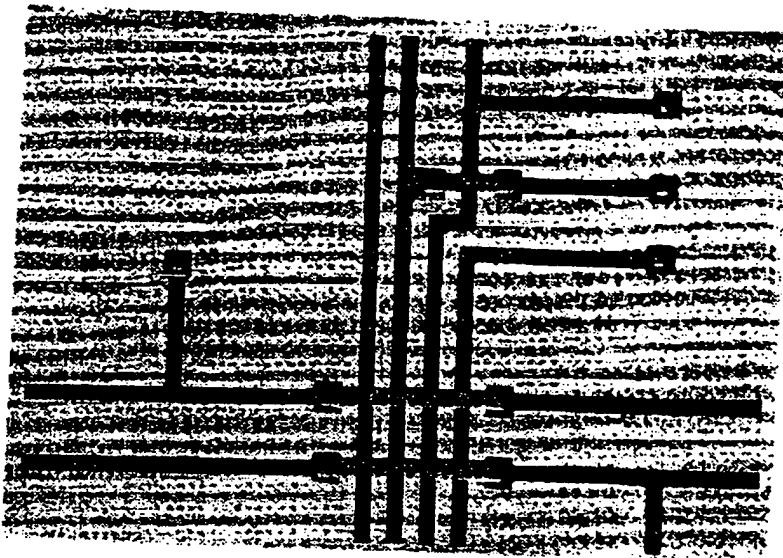


Рис. 3. Часть готовой коммутационной платы ($\times 50$, освещение боковое).

ствах мембраны (приводит к короблению вследствие разницы коэффициентов термического расширения).

Таким образом, по отношению к материалу мембраны и верхнего слоя металлизации наиболее целесообразно применение в качестве промежуточного слоя ванадия. Использование ванадия позволяет и нижний слой металлизации изготовить из алюминия. Алюминий, кроме известных преимуществ [3], обладает хорошей адгезией к ситаллу, применяемому в качестве подложки для КП.

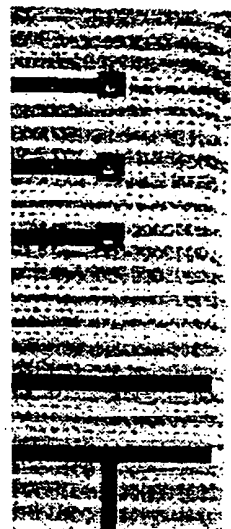
Технологический процесс изготовления коммутационной платы с описываемыми мембранными пересечениями сравнительно простой. На ситалловой подложке создается однослойная алюминиевая разводка. Катодным распылением с реакцией [5] наносится пленка двуокиси кремния и подвергается фотогравировке. На поверхность пластины напыляется промежуточный слой ванадия и тоже фотогравировается. При этом остаются островки ванадия, необходимые для формирования опор, и узкие полоски в местах создания мембран, подлежащие дальнейшему вытравливанию для образования воздушного зазора под мембранами.

Дальше на подложку напыляется верхний слой металлизации — слой алюминия. С помощью фотолитографии одновременно получают алюминиевые мембраны и контактные площадки. Процесс фотогравировки верхнего слоя алюминия при наличии нижней алюминиевой разводки затруднений не вызывает, так как при этом маскирующим слоем служит или двуокись кремния, или промежуточный слой ванадия, в зависимости от конструкции фотошаблонов.

Буферный слой ванадия вытравливается из-под мембраны. Опорные поверхности мембраны защищены с трех сторон алюминием и подтравливание ванадия происходит только с внутренней стороны. За время травления ванадий под мембраной не успевает выветриваться полностью.

агстворов и соединений

ет соединения с алю-
учающийся переходной
сказывается на свой-



свешение боковое).

ние разницы коэффи-

ембраны и верхнего
менение в качестве
дня позволяет и ниж-
Алюминий, кроме
зией к ситаллу, при-

уационной платы с
ительно простой. На
миниевая разводка.
енка двуокиси крем-
сть пластины напы-
авируется. При этом
формирования опор,
жащие дальнейшему
за под мембранами.
лой металлизации —
ременно получают
Процесс фотогравир-
й алюминиевой раз-
аскирующим слоем
слой ванадия, в за-

д мембраны. Опор-
алюминием и под-
стороны. За время
зываются полностью.

Оставшиеся части буферного слоя и служат опорой мембраны. Готовая плата подвергается термической обработке в инертной среде.

В случае, если коммутационная плата предназначена для присоединения чипов методом перевернутого кристалла, одновременно с созданием разводки и мембранных пересечений в едином технологическом цикле изготавливаются опоры для присоединения чипов. Конструкция такой опоры дана на рис. 2. Опора представляет собой часть слоя ванадия, заключенную со всех сторон в алюминий, что дает возможность вытравливать буферный слой ванадия из-под мембраны, не разрушая опоры.

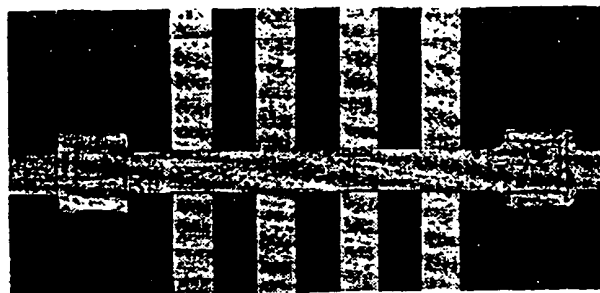


Рис. 4. Мембранное пересечение токопроводов ($\times 50$, освещение прямое).

Изготовленная КП состоит из 34 мембранных перемычек различной длины, которые реализовали 61 пересечение токопроводов. Часть такой платы и мембранное пересечение показаны на рис. 3 и 4.

Испытания готовых коммутационных плат показали, что полученные мембранные пересечения выдерживают напряжение на пересекающихся токопроводах около 100 в. При напряжении 110—120 в вследствие действия электростатических сил происходил прогиб мембраны — мембрана ложилась на твердый диэлектрик. Зависимости напряжения прогиба от длины мембраны не наблюдалось. Увеличение напряжения до 140—150 в приводило к пробое диэлектрика *.

ВЫВОДЫ

1. Получена коммутационная плата для МИС на основе трехслойной композиции с использованием всего лишь двух металлов — алюминия и ванадия, имеющая мембранные пересечения токопроводов с двойной диэлектрической изоляцией.
2. Верхний слой металлизации на КП совместно с широко применяемой алюминиевой металлизацией чипа реализуют одну из двух устойчивых контактных пар + (алюминий—алюминий).

ЛИТЕРАТУРА

1. Clark R. — Elec. Pach. Prod., 1969, 9, 12, 1, 54—62.
2. Lepseiter M. P. — Bell. Sys. Techn. J., 1968, 47, 2, 269—271.
3. Шнейбл Г., Кип Р. — ТИИЭР, 1969, 57, 9, 118—128.
4. Дятлов В. Л., Солдатенков И. С. — Труды I Всесоюзной конференции по вычислительным схемам. Вып. 5. «Наука», Новосибирск, 1968, 159—176.
5. Завялец Е. Г., Кимарский В. И., Кауфман А. П., Кобыляцкая М. Ф. — Электронная техника, Материалы, 1970.

Поступила в редакцию
в мае 1971 г.

* Когда статья была уже написана, в печати появилась работа (Solid State Technology, 1970, 13, 8, 62—66), в которой кратко упоминается об изготовлении алюминиевых пересечений, подобных описанным в данной статье.